

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНЫЕ ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЙ АСИНХРОННЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ****И. С. Конох**Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: kis\_saue@mail.ru

Рассмотрены вопросы создания информационной технологии управления испытательным комплексом, обладающим способностью адаптации к объекту испытаний за счет использования нечеткой логики, и позволяет формировать оптимизированное испытательное напряжение. Развитие информационных технологий обеспечивает использование современных эффективных энергетических методов диагностики и идентификации параметров схемы замещения, определения нагрузочной способности без статической нагрузки двигателя. Показана необходимость организовать управление спектральным составом полигармонического напряжения питания в системе «преобразователь частоты–асинхронный двигатель» таким образом, чтобы обеспечить значимость всех гармоник мощности, используемых в уравнениях энергетического баланса. Разработана структура нечеткой системы управления спектральным составом потребляемой мощности в процессе нагрузочных испытаний, отличительной чертой которой является аппроксимация нечетким контроллером найденных зависимостей изменения спектров тока и мощности от спектра напряжения. Созданы алгоритмы логического управления работой системы. Произведена разработка и оптимизация работы нечеткого регулятора тока с единой структурой для целей формирования режимов идентификации и динамического нагружения, обеспечивающего качественные переходные процессы при всех возможных изменениях параметров асинхронных двигателей. Создано алгоритмическое, информационное и программное обеспечение, автоматизирующее операции определения паспортных данных электрической машины и учета их изменения в процессе ремонта.

**Ключевые слова:** асинхронный двигатель, полигармоническое питание, нечеткая логика, мгновенная мощность.

**ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНІ ТЕХНОЛОГІЇ ДЛЯ ВИПРОБУВАННЯ АСИНХРОННИХ ДВИГУНІВ****І. С. Конох**Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: kis\_saue@mail.ru

Розглянуті питання створення інформаційної технології управління випробувальним комплексом, що володіє здатністю адаптації до об'єкту випробувань за рахунок використання нечіткої логіки, і дозволяє формувати оптимізоване випробувальне напруження. Розвиток інформаційних технологій забезпечує використання сучасних ефективних енергетичних методів діагностики та ідентифікації параметрів схеми замщення, визначення здатності до навантаження без статичного навантаження двигуна. Показано необхідність організувати управління спектральним складом полігармонічної напруги живлення в системі «перетворювач частоти–асинхронний двигун» таким чином, щоб забезпечити значимість усіх гармонік потужності, що застосовується в рівняннях енергетичного балансу. Розроблено структуру нечіткої системи управління спектральним складом споживаної потужності в процесі навантажувальних випробувань, відмінною рисою якої є апроксимація нечітким контролером знайдених залежностей зміни спектрів струму і потужності від спектра напруги. Створено алгоритми логічного керування роботою системи. Проведена розробка та оптимізація роботи нечіткого регулятора струму з єдиною структурою для цілей формування режимів ідентифікації та динамічного навантаження, що забезпечує якісні перехідні процеси при всіх можливих змінах параметрів асинхронних двигунів. Створено алгоритмічне, інформаційне та програмне забезпечення, що автоматизує операції визначення паспортних даних електричної машини та обліку їх змін у процесі ремонту.

**Ключові слова:** асинхронний двигун, полігармонічне живлення, нечітка логіка, миттєва потужність.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Последнее время постоянно растет применение современных научных и прикладных ИТ-разработок в области диагностики различного электрооборудования, в частности, двигателей, прошедших ремонт. Ежегодно ремонтируется от 30 до 70 % электродвигателей. У них меняются практически все параметры, а также снижается нагрузочная способность. Задача определения реальных электромагнитных и энергетических параметров асинхронных двигателей (АД) имеет большое значение для построения и эксплуатации электромеханических систем на их основе. Это позволяет избежать экономических потерь, связанных с возвращением на прежнее место АД, которые уже не удовлетворяют требованиям технологического процесса (такие случаи составляют около 25 % от количества отремонтированных двигателей). Ком-

пьютеризированные средства мониторинга считаются рентабельными только для мощных машин.

Следовательно, актуальным является определение наиболее полного и точного набора характеристик новых и отремонтированных АД, что позволит снизить временные и трудовые затраты на полный цикл эксплуатации. Этого можно достичь путем развития современных информационных технологий для автоматизации основных этапов процесса ремонта и испытаний при использовании современных энергетических методов диагностики и идентификации параметров схемы замещения и определения нагрузочной способности без статической нагрузки двигателя.

Точность идентификации новых паспортных данных двигателя достигается управлением спектральным составом полигармонического напряжения питания в системе «преобразователь частоты–

асинхронный двигатель» таким образом, чтобы обеспечить значимость всех гармоник мощности, используемых в уравнениях энергетического баланса.

Цель работы заключается в повышении эффективности послеремонтных испытаний на основе развития информационной технологии интеллектуального управления мгновенными энергетическими процессами.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.**

В условиях предприятий отсутствие работающих служб мониторинга электрооборудования, а также эффективных универсальных испытательных комплексов приводит к значительным потерям от эксплуатации некачественных двигателей и остановки основного оборудования. Исправить ситуацию можно за счет создания новой информационной технологии, которая удовлетворит требования современных методов энергодиагностики и позволит существенно снизить капитальные затраты на создание диагностических комплексов.

Необходимое аппаратное, математическое и программно-информационное обеспечение должно под-

держивать регламентированные государственным стандартом опыты и измерения при вращающемся и неподвижном роторе.

Внедрение систем этого типа для приемодаточных испытаний позволяет использовать преимущества компьютеризированного учета проведенных ремонтов для накопления статистических данных и более эффективной эксплуатации оборудования [1]. Этапы процесса испытаний описываются схемой, приведенной на рис. 1.

Для идентификации параметров АД и формирования реального паспорта достаточно использовать общепринятую схему замещения, содержит шесть элементов (рис. 2), где коэффициент  $v$  - номер гармоники напряжения. Спектр тока будет содержать значительные гармоники таких же частот.

Для определения активных сопротивлений и индуктивностей схемы замещения достаточно использовать три гармоники в сети питания и составить систему уравнений энергетического баланса, куда входит шесть гармоник мгновенной мощности, разбитых на косинусные и синусные составляющие.



Рисунок 1 – Схема автоматизированного процесса испытаний асинхронных двигателей приложения

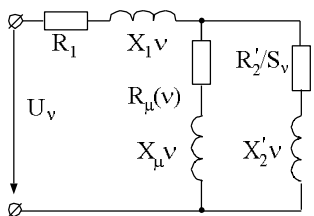


Рисунок 2 – Схема замещения АД

Разработан метод автоматического формирования гармонического состава испытательного напряжения, который оптимизирует дискретный спектр мгновенной мощности за счет использования настроенной нечеткой системы, что позволяет повысить эффективность и точность определения параметров схемы замещения асинхронных двигателей

методом энергетического баланса [2].

В общем виде баланс мощностей имеет следующий вид:

$$\begin{cases}
 P_0 = P_{0R_1} + P_{0R_\mu} + P_{0R'_2}; \\
 \sum_i P_{ia} = \sum_i P_{iaR_1} + \sum_i P_{iaR_\mu} + \sum_i P_{iaR'_2} + \\
 + \sum_i P_{iaL_1} + \sum_i P_{iaL_\mu} + \sum_i P_{iaL'_2}; \\
 \sum_i P_{ib} = \sum_i P_{ibR_1} + \sum_i P_{ibR_\mu} + \sum_i P_{ibR'_2} + \\
 + \sum_i P_{ibL_1} + \sum_i P_{ibL_\mu} + \sum_i P_{ibL'_2},
 \end{cases} \quad (1)$$

где  $P_0, P_{0R_1}, P_{0R_\mu}, P_{0R'_2}$  – постоянные составляющие мгновенной мощности источника полигармонического напряжения, активных сопротивлений первичной цепи, контура намагничивания и вто-

ричної цепи соответственно;  $P_{ia}, P_{ib}$  – косинусные и синусные составляющие мгновенной мощности источника полигармонического напряжения;  $P_{iaR}, P_{ibR}, P_{iaL}, P_{ibL}$  – косинусные и синусные составляющей мгновенной мощности на активных и индуктивных опорах первичной цепи, контура намагничивания и вторичной цепи;  $i$  – номер гармоники мощности ( $i = 2, 4, 6, 8, 10$ ).

Первое уравнение определяет равенство постоянных составляющих мгновенной мощности на источнике и элементах схемы замещения, следующие уравнения – равенство знакопеременных составляющих мгновенной мощности для соответствующих гармоник.

Уравнение энергетического баланса решается в числовом виде относительно неизвестных сопротивлений и индуктивностей (сопротивление статора определяется заранее). Для обеспечения точности работы метода необходимо сформировать одинаковые и максимально допустимые амплитуды гармоник мощности.

Необходимо достичь минимума относительной несогласованности гармоник и максимума их амплитуд при значении тока, меньше или равно номинальному. Критерий качества спектра мощности имеет вид:

$$Q = \min \left[ \sum_j k_j \frac{|P_j - P_s|}{P_s} + a \frac{|I_d - I|}{I_d} \right], \quad (2)$$

где  $j$  – номер гармоники мощности;  $k_j$  – весовые коэффициенты гармоник в диапазоне  $[0,8; 1]$ ;  $P_j$  – текущая амплитуда  $j$ -ой гармоники мощности;  $P_s$  – средняя мощность гармоники;  $I_d$  – допустимый действующий ток;  $I$  – текущий действующий ток;  $a$  – коэффициент, учитывающий вес составляющей тока в комплексном критерии.

В ходе работы предложен нечеткий метод принятия решений по формированию амплитудного спектра мгновенной мощности. Метод регламентирует структуру адаптивной системы управления спектром мощности (рис. 3), что уменьшает относительную разницу в амплитудах всех гармоник и регулирования их общего уровня, путем изменения величины действующего тока двигателя, влияя на коэффициент передачи суммарного воздействия, задается полигармонического напряжением. Нечеткая система регулирования величины действующего тока обеспечивает работоспособность метода для каждого экземпляра двигателя по всему диапазону мощностей.

Из-за невозможности решения задачи аналитическими методами, в контур управления введена нечеткая экспертная система, обобщающая результаты экспериментальных исследований и определя-

ет направление изменения амплитуд гармоник напряжения питания.

Для сглаживания управляющих воздействий и повышения устойчивости замкнутой системы выходные сигналы нечеткого контроллера поступают на входы цифровых интеграторов, имеющих ограничения  $[0,01, 1,5]$ . На рис. 4 показаны термы переменных.

Количество возможных комбинаций составляет 27, и для каждой из них измерялись абсолютные уровни гармоник мощности и относительное изменение по выходному комбинации. Такие опыты были выполнены для двигателей номинальной мощностью 4, 7,5, 15, 37, 75 и 110 кВт, затем результаты были обработаны и средние. По результатам экспериментов были сформулированы базу правил, которые определяют направление изменения отдельных амплитуд напряжения питания для уменьшения относительной несогласованности между гармониками мощности (табл. 1).

В соответствии с выбранным методом идентификации тестовая напряжение питания формируется как сумма трех синусных функций частотой 10, 30 и 50 Гц, которые суммируются с соответствующими весовыми коэффициентами. Напряжение задания для преобразователя образуется путем умножения суммы на общий коэффициент передачи. Блок широтно-импульсной модуляции превращает входной сигнал задачи в управляющие импульсы силовых ключей с периодом дискретизации более 5 кГц. На выходе блока быстрого преобразования Фурье вычисляются амплитуды гармонических составляющих мощности, которые служат входными сигналами нечеткого регулятора. Для эффективной работы регулятора необходимо получить относительные текущие уровни гармоник, для чего амплитуда каждой делится на величину средней заданной мощности одной гармоники.

Совершенствование информационной технологии осуществляется путем разработки основных алгоритмов, обеспечивающих обработку данных и управления испытаниями асинхронных двигателей.

В ходе работы усовершенствована компьютерная нечеткая система принятия решений по управлению динамическим нагрузочным током асинхронного двигателя (рис. 6), характеризующаяся автоматической настройкой к тестируемому экземпляру и определяющая потери на основе анализа полного баланса мгновенной мощности, что обеспечивает устойчивость переходных процессов и соответствие режимов динамической и статической нагрузок [4, 5]. Работа нечеткой системы принятия решений относительно управления динамическим нагрузочным током асинхронного двигателя описана диаграммой на рис. 7.

Эксплуатационные и ремонтные воздействия на двигатель могут привести к изменению параметров электротехнической стали и увеличению уровня потерь (в 1,5 ... 3 раза), кардинально нарушает тепловой баланс.

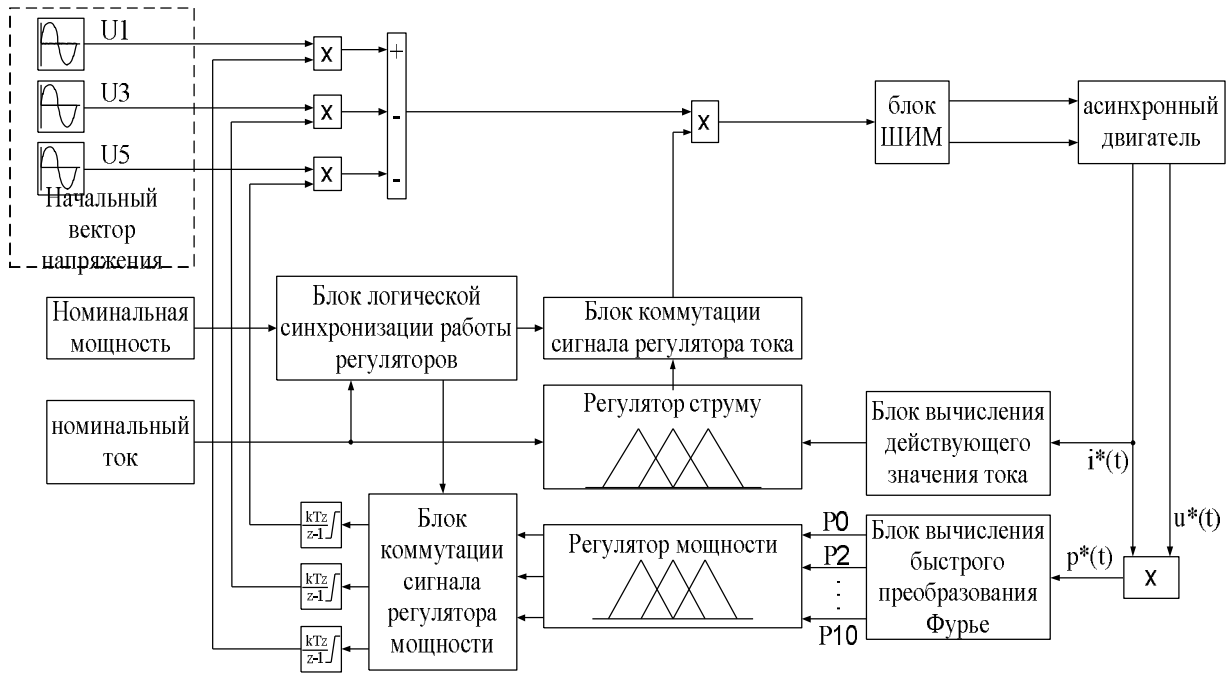


Рисунок 3 – Структурная схема системы формирования амплитудного спектра мощности

Таблица 1 – Пример экспертных правил нечеткого контроллера мгновенной мощности

Входные переменные						Управляющие сигналы		
P0	P2	P4	P6	P8	P10	U1	U3	U5
норма	норма	норма	меньше	больше	норма	–	уменьшить	–
норма	норма	больше	норма	норма	больше	–	уменьшить	уменьшить
меньше	менша	норма	норма	норма	больше	увеличить	уменьшить	уменьшить

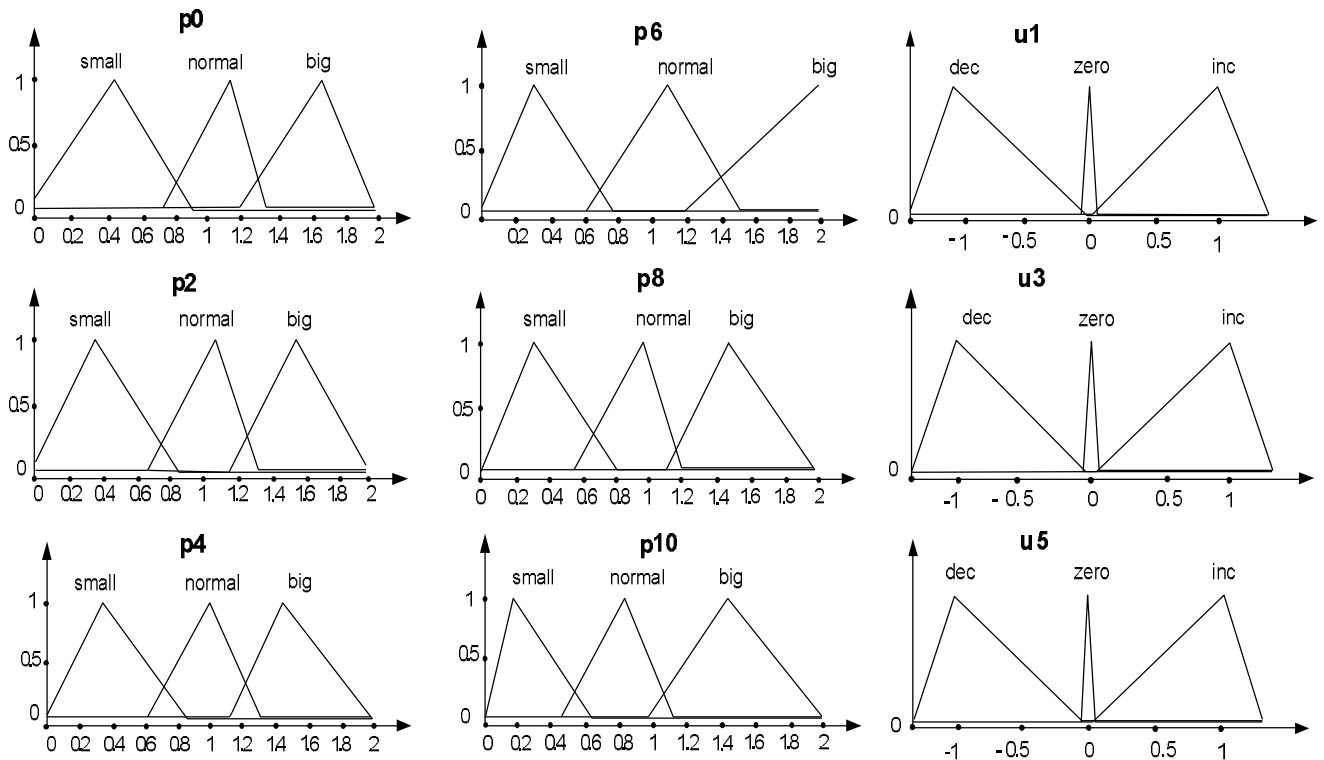


Рисунок 4 – Термы входных и выходных сигналов нечеткого контроллера мгновенной мощности

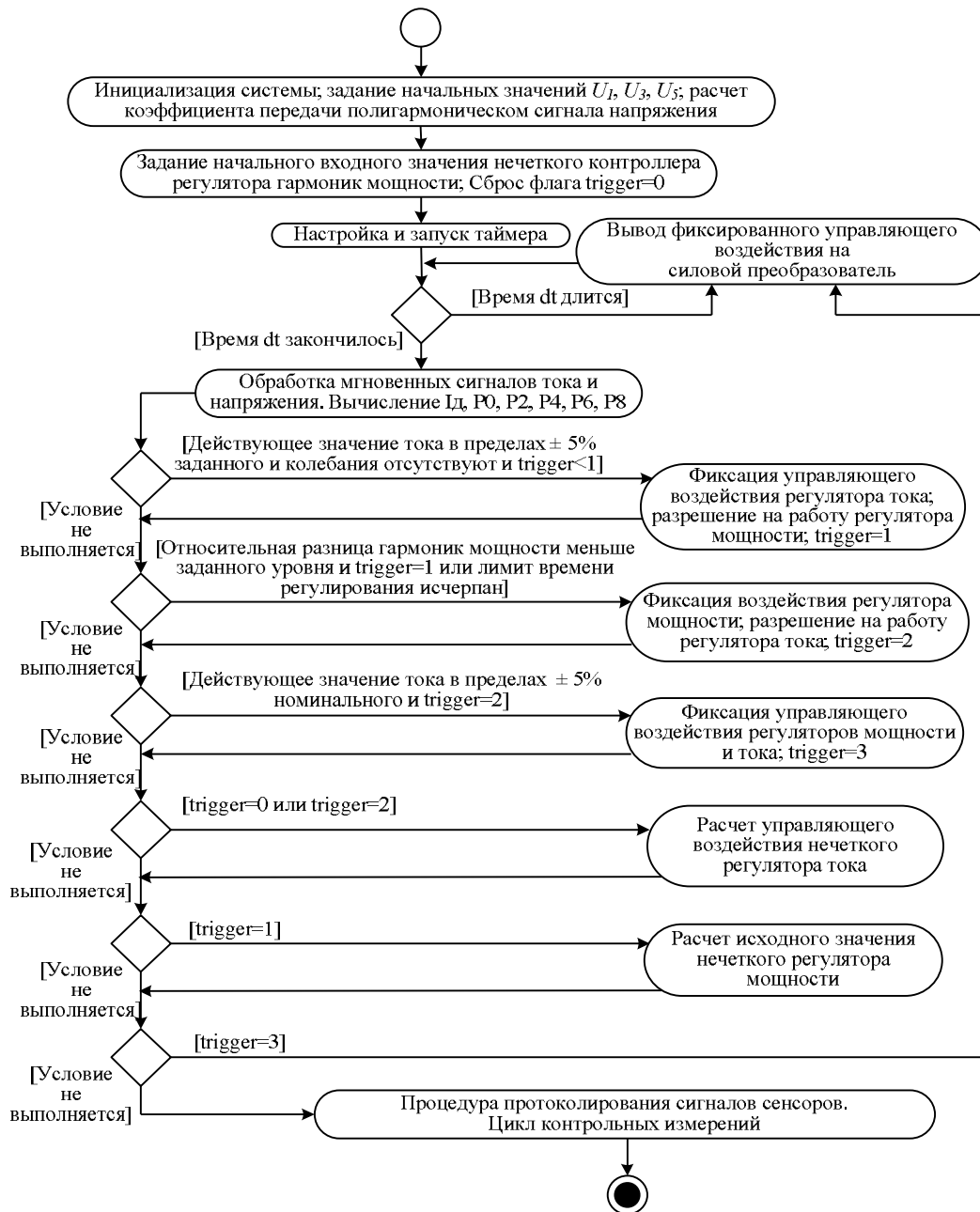


Рисунок 5 – UML-диаграмма работы системы формирования спектра мощности и действующего тока динамической нагрузки

Достоверная оценка потерь в меди и стали является объективным критерием изменения нагрузочной способности двигателя после его ремонта. Их определение возможно с использованием метода динамической нагрузки. Эффективный режим динамической нагрузки может быть получен при питании двигателя от источника с регулируемой частотой:

- при частотной модуляции знакопеременные мощность и момент возникают за счет изменения величины и знака скольжения ротора относительно поля статора, скорость которого изменяется в соответствии с законом изменения частоты;

- наиболее перспективным видом модуляции является узкополосным частотная модуляция гармоническим сигналом с параметрами (при рабочей частоте  $f_0=50$  Гц)  $f_m \sim 5-20$  Гц, в зависимости от величины напряжения питания, и индексом модуля-

ции  $0,15-0,2$ .

Упорядочить спектр напряжения и тока возможно путем аппроксимации дискретным спектром напряжения из трех гармоник.

Для увеличения нагрузочного тока необходимо уменьшать амплитуду основной гармоники 45 Гц и увеличивать амплитуды гармоник 35 и 55 Гц. Частота основной гармоники выбрана исходя из обеспечения номинальной частоты вращения машины (номинальное скольжение  $0,02-0,06$ ).

В результате двигатель вращается с периодически изменяемой скоростью, спектр имеет гармоники постоянной частоты, в которых меняются только амплитуды. Это позволяет существенно упростить автоматизированное решение в числовом виде системы уравнений баланса мощности.

Для целей динамической нагрузки можно при-

близительно считать, что потери в АД представлены суммой потерь, вызванных каждой гармоникой тока отдельно. Суммарные потери в стали статора и ротора можно представить следующей эмпирической зависимостью:

$$\Delta P_{C\Sigma} = \Delta P_{C\sigma} + \Delta P_{Cp} = I_{\mu\nu}^2 (R_{\mu C} v_C^\beta + R_{\mu P} v_P^\beta), \quad (4)$$

где  $R_{\mu C}$ ,  $R_{\mu P}$  – эквивалентные магнитные опоры служат коэффициентами пропорциональности;  $I_{\mu\nu}$  – ток намагничивания, эквивалентный потока в зазоре;  $v_C$ ,  $v_P$  – относительная частота перемагничивания стали статора и ротора соответственно;  $\beta$  – коэффициент, зависящий от типа стали.

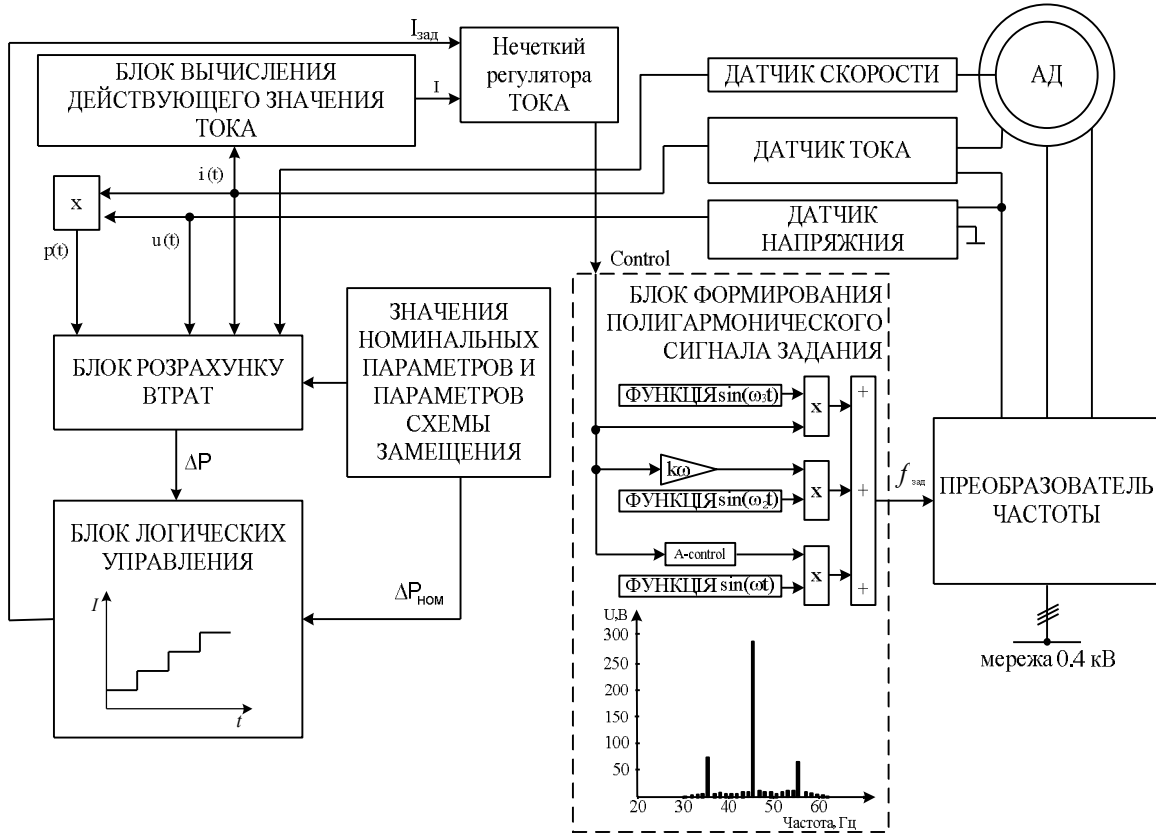


Рисунок 6 – Функциональная схема системы определения эквивалентного тока и управление динамическим нагрузочным током

В схеме (рис. 6) основным является контур регулирования тока, в который входят нечеткий ПИ-регулятор, экстраполятор нулевого порядка, блок формирования полигармонического сигнала задает напряжения питания, трехфазный силовой преобразователь, АД, датчик тока, блок расчета действующего значения тока статора. Влияние задания для регулятора тока формирует блок логического управления на основе сравнения текущего значения тепловых потерь со справочным значением.

В установившемся режиме динамической нагрузки производится замер мгновенных значений фазных токов и напряжений, расчет сигнала мгновенной мощности, гармонический анализ электрических сигналов.

Как было показано выше, из уравнений баланса мгновенной мощности можно найти неизвестные элементы схемы замещения и потери, греют. Блок логического управления выполняет сравнение сум-

мы потерь с номинальными и определяет направление изменения влияния задания для регулятора тока после предыдущей смены.

По мере роста нагрузки и времени работы машины будет наблюдаться изменение значений активных сопротивлений за счет увеличения температуры и перераспределение потерь в обмотках и стали. Поэтому в алгоритме работы (рис. 7) на каждый цикл предусмотрено определение по методу мгновенной мощности новых параметров схемы замещения и тепловых потерь.

Составной частью технологии является программа управления процессом формирования спектра мощности и управления процессом динамической нагрузки, которая позволяет сформировать специальные режимы полигармонического питания, что является необходимым условием для работы существующих методов динамического нагружения и определения параметров схемы замещения путем анализа баланса мгновенной мощности [4–6].

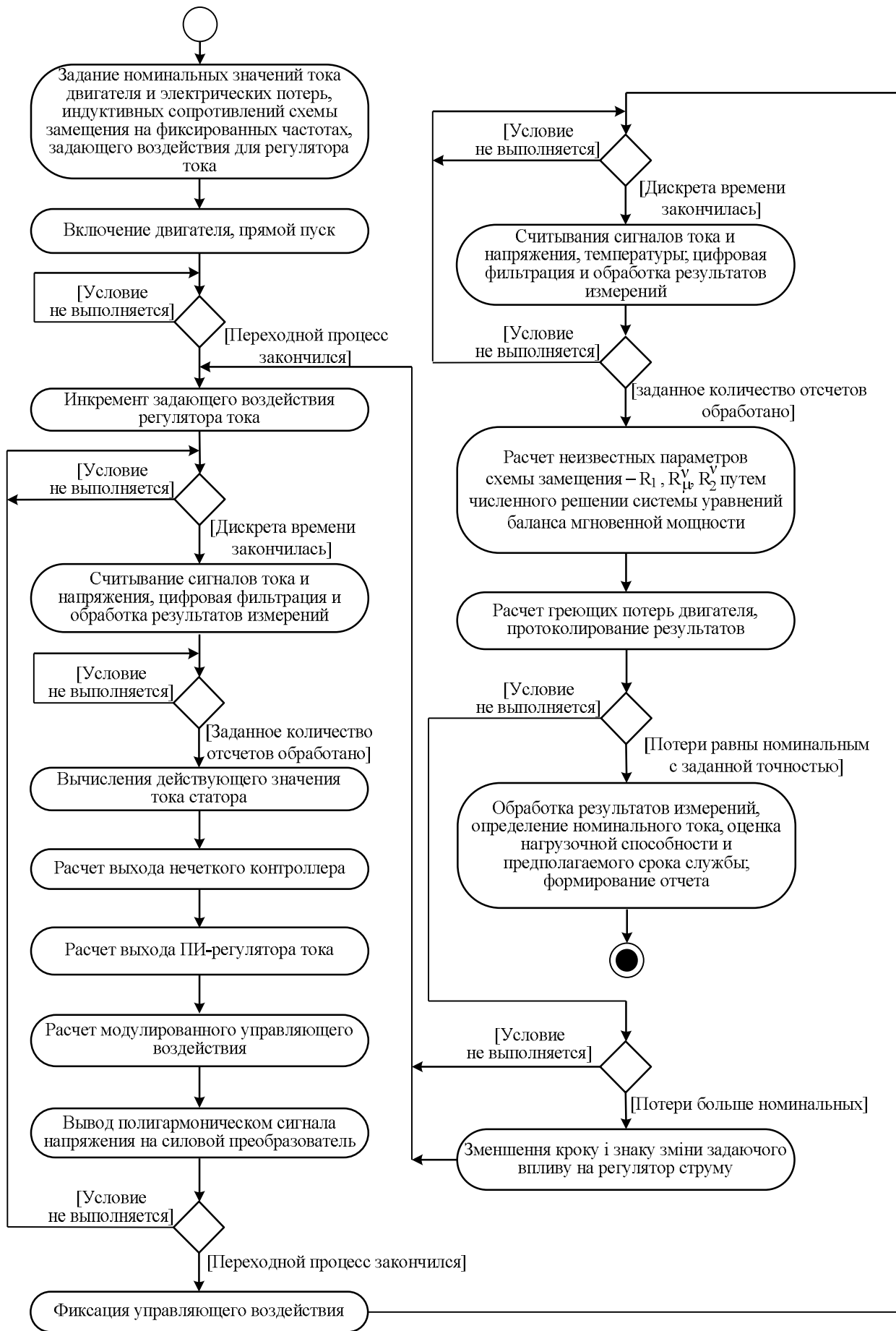


Рисунок 7 – UML-диаграмма работы системы принятия решений по управлению динамическим нагрузочным током асинхронного двигателя

Программа для управления исполнительными устройствами и анализа полученных сигналов была создана в пакете Labview (рис. 8). Приложение предназначено для управления однофазным или трехфазным силовым преобразователем и может быть использован для режимов идентификации параметров схемы замещения и формирования режимов динамической нагрузки. Пользователь может задавать параметры считывания информации (частота АЦП, межкадрового задержки, количество каналов, частота одного канала аналого-цифрового преобразования). В окне создания файла данных пользователь может видеть диск, на который будет записан файл, объем занятого и свободного места. Проведенные теоретические исследования подтверждаются экспериментальными результатами, в частности, улучшением значения критерия качества при автоматической настройке спектра мощности (рис. 9).

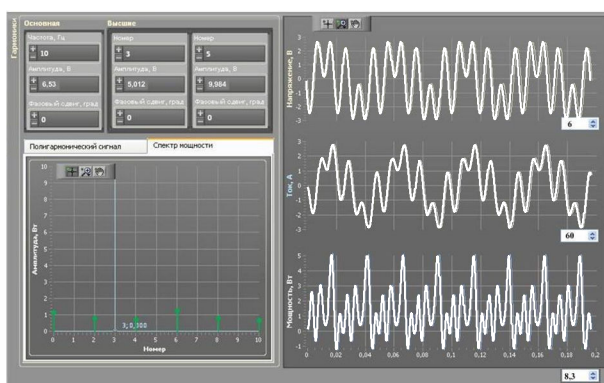


Рисунок 8 – Графическое окно работающего приложения

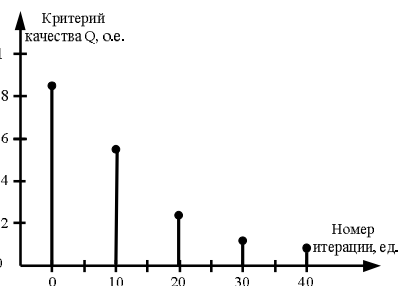


Рисунок 9 – Диаграмма изменения критерия качества при автоматической настройке спектра мощности

**ВЫВОДЫ.** В работе приведены теоретическое обобщение и новое решение задачи, которая заключается в развитии информационной технологии управления процессами послеремонтных испытаний асинхронных двигателей с анализом и управлением мгновенными энергетическими процессами с целью повышения эффективности испытаний. Сформулированы и обоснованы следующие научные выводы и практические результаты.

1. Большое количество асинхронных двигателей широкого диапазона мощности, которые проходят капитальный ремонт, высокая стоимость оборудования для выполнения статической нагрузки и отсутствие эффективного компьютеризированного

оборудования для проведения комплексного послеремонтного контроля обосновывают актуальность разработки новых испытательных комплексов и информационных технологий. Разработка и совершенствование методов обработки данных и принятия решений при формировании динамических испытательных режимов с целью повышения их эффективности является актуальной теоретической и прикладной задачей.

2. Способ включения нечетких контроллеров тока и мощности и управления их работой с разработанным алгоритмом обеспечивает устойчивость работы системы для широкого ряда асинхронных двигателей. Метод позволяет снизить относительную разницу амплитуд гармоник мощности до уровня 0,135, что обеспечивает достаточную точность для метода энергодиагностики.

3. Доказано, что алгоритм управления процессом динамической нагрузки позволяет определить статорный ток, при котором рабочая температура машины будет соответствовать номинальной, а тепловые потери будут равны потерям в номинальном режиме при статической нагрузке. Синтезированная оптимальная структура нечеткого регулятора тока позволяет использовать регулятор как для задач формирования спектра мощности, так и для управления нагрузкой без дополнительных настроек.

4. Полученная информационная технология управления послеремонтными испытаниями асинхронных двигателей отличается формированием полигармонического питания и анализом мгновенных энергетических процессов с использованием нечетких экспертных систем и позволяет автоматизировать и повысить эффективность испытаний. Достигается автоматизация настройки оборудования, снижение капитальных затрат на построение испытательных комплексов, повышается информативность испытаний, уменьшаются потери от эксплуатации двигателей с затраченным ресурсом.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Конох И.С., Прус В.В., Ахметшина М.В. Разработка системы сертификации асинхронных двигателей на основе их видеоидентификации в процессе ремонта // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2007. – Вип. 4/2007 (45), част. 1. – С. 123–128.
2. Родькин Д.И., Ромашихин Ю.В. Энергетический метод идентификации электромеханических устройств и систем // Энергетика. – Минск: БНТУ, 2011. – № 3. – С. 10–20.
3. Конох И.С. Нечеткая система управления гармоническим составом мощности источника для питания асинхронного двигателя при идентификации его параметров // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 4/2008 (51), част. 1. – С. 106–112.
4. Konokh I. Fuzzy control system of load current for induction motor in dynamic loading // XII International PhD Workshop OWD, 2010. – С. 169–174.
5. Конох И.С. Система формирования спектра мгновенной мощности для идентификации параметров асинхронных двигателей // Електромеханічні і



енергозберігаючі системи: Тематичний випуск «Проблеми автоматизованого електропривода. Теорія і практика». – Кременчук: КрНУ, 2012. – Вип. 4 (20). – С. 99–102.

6. Конох І.С., Шипулін О.І. Компьютеризированный диагностический комплекс управления

гармоническим составом мощности для идентификации параметров асинхронного двигателя // Вісник Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 6 (53), част. 2. – С. 11–17.

## INTELLIGENT TECHNOLOGY FOR TESTING OF INDUCTION MOTORS

**I. Konokh**

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

ul. Pervomayskaya, 20, Kremenchug, 39600, Ukraine. E-mail: kis\_saue@mail.ru

This work is devoted to the creation of management information technology of test system with adaptive ability to the test object using fuzzy logic and forming of optimized test voltage. Development of information technology enables the use of modern energy efficient methods of diagnosis and identification of equivalent circuit parameters, determine the load capacity without the static loading of the engine. The necessity to organize the spectral composition management of the polyharmonic supply voltage in the system inverter-induction motor are showed so as to ensure that the significance of all harmonics of the power used in the energy balance equation. The structure synthesis of fuzzy system with control of consumed power spectral composition under testing was carried out. Its distinctive feature is approximation of obtained current and power spectrum variation dependences on voltage spectrum by fuzzy controller. The logic control algorithm of system operating was synthesized. The optimization of fuzzy current regulator with unified structure was carried out for the purpose of identification and dynamic loading conditions formation providing high-quality transients for all possible variations of the induction motors parameters. The information, algorithmic and software was designed for automates the steps of determining the passport data of the electrical machine taking into account their changes in the repair process.

**Key words:** induction motor, polyharmonic supply power, fuzzy logic, instantaneous power.

### REFERENCES

1. Konokh, I.S., Prus, V.V. and Akhmetshina, M.V. (2007), "Develop a system of certification of induction motors based on their video identification in the process of renovating", *Transaction of Kremenchuk State Politechnical University*, no. 45, vol. 4, pp. 123–128.

2. Rodkin, D.I., Romashihin, Y.V. (2011), "Energy method of electromechanical devices and systems identification", *Energiya*, no. 3, pp. 10–20.

3. Konokh, I.S. (2008), "Fuzzy control system of power harmonic composition for induction motor supply under motor parameters identification", *Transaction of Kremenchuk State Politechnical University*, no. 51, vol. 4, pp. 106–112.

4. Konokh, I. (2012), "Fuzzy control system of load current for induction motor in dynamic loading", Pro-

ceedings of *XII International PhD Workshop OWD*, pp. 169–174.

5. Konokh, I.S. (2012), "System instantaneous power spectrum shaping parameter identification for asynchronous motors", *Elektromekhanichni i energozberigayuchi systemy. Tematychnyy vypusk "Problemy avtomatyzovanogo elektropryvodu. Teoriya i praktyka"*, no. 20, vol. 4, pp. 99–102.

6. Konokh, I.S., Shipulin, O.I. (2008), "Computerized diagnostic complex harmonic structure management capacity to identify the parameters of the induction motor", *Transaction of Kremenchuk State Politechnical University*, no. 53, vol. 6, pp. 11–17.

Стаття надійшла 12.02.2015.